

MEZŐGAZDASÁGILAG HASZNOSÍTOTT KISVÍZGYŰJTŐK TALAJERÓZIÓHOZ KÖTŐDŐ ELEMDINAMIKÁJA

Farsang Andrea¹, Kitka Gergely², Barta Károly¹

¹SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

²Alsó-Tisza-vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, Szeged
e-mail: farsang@geo.u-szeged.hu

Összefoglalás

Kutatásaink középpontjában csernozjom területeink vízerózió által okozott tápanyagvesztésének, illetve felhalmozódásának számszerűsítése áll. Parcella szintű eróziós mérési eredményeink és vízgyűjtő szintű talajtani adatok alapján elkészítettük a mintaterületként kiválasztott velencei-hegységi Cibulka-patak vízgyűjtőjének (14 km²) tápanyag- és elemtartalom-térképét, valamint kiszámoltuk az erózióval mozgatott szedimentben történő elem- és tápanyagfeldúsulást. Az Erosion 2D/3D talajeróziós modell segítségével a teljes vízgyűjtőre, több csapadékeseményre modelleztük a talajerózió mértékét. A koncentrációtérképek, az eróziós térkép és a feldúsulási faktorok szorzataként minden egyes elemre, illetve tápanyagra elkészítettük a vízgyűjtő tápanyag- és elemvesztés/áthalmozás térképét.

Eredményeink közül kiemelnénk, hogy a nikkelt és a foszfort több mint kétszeresére dúsult a mozgó üledékben, míg az ólom és a króm esetében feldúsulást alig tapasztaltunk. Cikkünkben bemutatunk egy csapadékeseményre elkészített foszformozgás-térképet, illetve közöljük a 2004-es évre kiszámított foszforvesztéseget, mely 0,02-4,44 kg/ha között változott a vízgyűjtőnkön.

Abstract

The investigation is focused to quantify the nutrient loss and accumulation caused by water erosion in Hungarian chernozem areas. The study area is found in the Velence Mountains where element and nutrient content maps were made to the Cibulka Catchment (14 km²). Eroded soil was measured in small plots and enrichment ratios were calculated as quotient of nutrient and element content of sediment from erosion traps and of soils around traps. Soil erosion was modeled to the whole catchment for several rainfall events with help of Erosion 2D/3D model after its calibration. Nutrient and element loss maps were calculated for each element and nutrient as multiplication of erosion map, initial element/nutrient content map and enrichment ratio.

The most important results show the different movement of element and nutrients e. g. there is no enrichment to lead and chromium but nickel and phosphorus can enrich more than twice in the moving sediment. The article shows phosphorus movement map for a rainfall event and phosphorus loss calculations for 2004 which varied between 0,02-4,44 kg/ha in the catchment.

Bevezetés

A talaj nyílt rendszer, melynek elemforgalmát számos tényező befolyásolja. A mezőgazdaságilag művelt területen a természetes és antropogén légköri és talajképző közet eredetű forrásokon túl jelentős elembevételi forrást jelent a mezőgazdasági művelés eredményességét célzó tápanyag utánpótlás, valamint a különböző növényvédő szerek alkalmazása, szennyvíziszap, illetve más nem veszélyes hulladék termőterületre történő kihelyezése. A tápanyag töke csökkenése elsősorban a termesztett növények tápanyag kivétele, valamint a kilúgozási folyamatok révén következik be. Az intenzív talajművelésnek és

nem megfelelő agrotechnikának köszönhetően azonban a talajok makro- és mikroelem mérlegében egyre jelentősebb komponens a horizontális elmozdulás. Ez a lejtős területeken az erózióval, míg síksági területeken a kora tavaszi növényborítás-mentes időszakban a defláció általi elhordással történik (FARSANG, BARTA, 2005; JAKAB et al., 2010).

A talajban különböző szerves és szervetlen formában kötött, valamint adszorbeált állapotban és a talajoldatban levő makro- és mikroelem formák egymással dinamikus egyensúlyban vannak (SZABÓ, 2000). A talajban levő összeselem-tartalomnak csupán tört része található a talajoldatban, valamivel nagyobb része adszorbeált állapotban van jelen. Ezen tápelem, illetve esetenként toxikus elemkészlet a kötődés formájától függően idővel mozgékonyvá válhat, a talajoldatba kerülhet. A mobilizálódott elemhányad az adott talaj elemkészletéből könnyen kikerülhet, mely bizonyos esetekben negatív, más esetekben pozitív hatásként értékelhető talajvédelmi, illetve környezeti szempontból. Negatív például abban az esetben, ha a mobilis elemkészlet felszíni lefolyással vagy erózióval távozik az adott mezőgazdasági területről (1. táblázat), hiszen az erodálódott területen tápanyagvesztést, az akkumulációs térszíneken pedig szükségtelen tápanyag felhalmozódást, a felszíni vizekbe kerülve eutrofizációt okoz (ISRINGHAUSEN, 1997; KURON, 1953; SISÁK, MÁTÉ, 1993).

1. táblázat Különböző szerzők által mért foszforveszteségek

Ország	Összes P (kg/ha/év)	Oldható P (kg/ha/év)	Szerző
a) Dánia	0,23-0,34	-	Kronvang et al. 1997
a) Dánia	-	0,08	Graesboll et al. 1994
b) Finnország	0,9-1,8	-	Rekolainen 1989
c) Németország	0,5-10	-	Duttmann, 1999
d) Svédország	0,01-0,6	0,01-0,3	SEPA Report, 1997
e) Norvégia	0,7-1,4	-	Ulén et al. 2000

A 20-21. században tapasztalható intenzív talajhasználat a mezőgazdasági művelés alatt álló talajaink erőteljes degradálódását, terhelését vonja maga után. Magyarország mezőgazdasági területének 35,3 %-a erodált valamilyen mértékben (8,5%-a erősen, 13,6%-a közepesen, 13,2 %-a gyengén erodált). Ez nem csak a tápanyagban gazdag feltalaj fizikai csonkolódását jelenti az érintett területeken, hanem az elmozduló talajrészecskékhez kötötten, illetve oldott formában a makro- és mikroelem tartalom távozását is az érintett térrészekről. Becslések szerint hazánk lejtős területeiről a víz által lehordott humuszos feltalaj évi átlagban mintegy 80-110 millió m³, az ezáltal bekövetkezett anyagvesztés pedig mintegy 1,5 millió tonna szervesanyag, 0,2 millió tonna N, 0,1 millió tonna P₂O₅ és 0,22 millió tonna K₂O (VÁRALLYAY et al., 2005).

Annak érdekében, hogy helyes intézkedéseket tegyünk a felszíni vizek tápanyagterhelésének csökkentésében, hogy ismerjük a szedimentációs területeken történő tápanyag felhalmozódás mértékét és helyét, majd ezen információkat beépíthessük a környezatkímélő tápanyag-gazdálkodási gyakorlatunkba, ismernünk kell a kiindulási területről érkező elemveszteségek, áthalmozódás mértékét meghatározó folyamatokat. Ismernünk kell többek között a domborzati viszonyok, a talajtípus, a felszínborítottság stb. tápanyag-vesztéséget befolyásoló szerepét, meg kell határozni e veszteség fő forrásait és útvonalait.

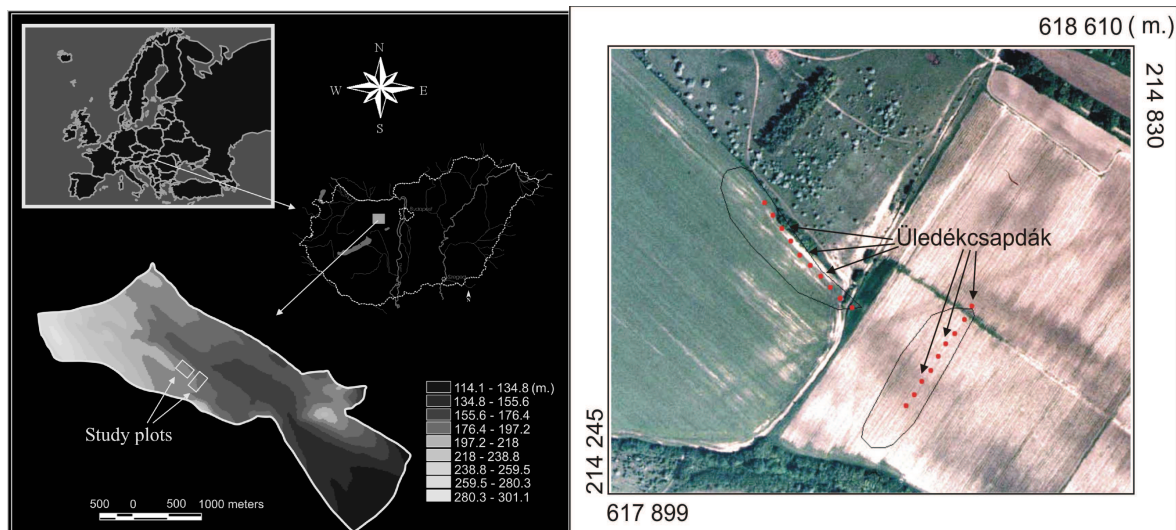
Jelen kutatás középpontjában Magyarország legnagyobb gazdasági potenciállal rendelkező csernozjom talajú területeinek vizsgálatát helyeztük abból a szempontból, hogy a vízerózió milyen tápanyagvesztéssel, illetve felhalmozást okoz. Számszerűsíteni kívántuk a víz általi erózióval mozgott szedimentben történő tápanyag feldúsulását a kiindulási talajhoz képest. Parcella szintre kiterjedő terepi mérési eredményeink és a mért adatok alapján történő modell kalibrációt követően nagyobb (néhány km², kisvízgyűjtő) területre kiterjedő tápanyag veszteség/átalmozás térképeket készítettünk.

Mintaterület

Vizsgálatainkat 1996-tól a mintegy 14 km² nagyságú Cibulka-patak vízgyűjtőjén, valamint az ezen vízgyűjtőn (2. ábra) kialakított szántó és szőlő területhasználatú teszt-parcellákon végeztük. A vizsgált terület Magyarország ÉNy-i részén, a Velencei-tó vízgyűjtőjén helyezkedik el. *Éghajlata* mérsékelt hűvös-száraz. Az évi középhőmérséklet 9,5-9,8 °C, a csapadékmennyiség 550-600 mm, melynek 50-55 %-a a nyári félévben hull, gyakran igen heves zivatarok formájában.

A vízgyűjtőt közzettanilag, talajtanilag, és területhasználatilag nagy változatosság jellemzi. A talajképző kőzet a magasabb térszíneken gránit és andezit, míg a lejtőoldalakokat lösz fedi. A gránit és andezit térszíneken a barna erdőtalaj és a földes kopár a jellemző talajtípus. A lösszel borított térszíneken elsősorban erősen és közepesen erodált csernozjom talajokat találunk. Az alacsonyabb térszíneken kisebb foltokban jelenik meg a réti csernozjom, valamint az erózió bizonyítékaként a lejtőhordalék talaj.

A vizsgált mintaparcellákon nagyüzemi szántóhasználat és szőlőtermesztés folyik. A mintaparcellák (2. ábra) genetikai talajtípusa csernozjom talaj különböző mértékben erodált változatai. Fizikai összetétele szerint vályog, agyagos vályog. A parcellák lejtőszöge átlagosan 40-os, 10 és 60 között változik. A talaj kémhatása semleges, gyengén lúgos. Szervesanyag tartalma alacsony, a feltalaj humusz tartalma 0,8-2,1% között változik.



1-2. ábra A mintaterület és az üledécsapdák elhelyezkedése

Módszerek

A vízgyűjtő talajának mintázása 32 mintatér kijelölésével, átlagminta képzéssel (0-10 cm) történt. A vizsgálatba vont talajtulajdonságok, illetve elemek az alábbiak: pH (H₂O), fizikai féleség (<0,02 mm tartalom), humusztartalom (%), AL-P₂O₅ tartalom,

összes és növény által felvehető mikroelem (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb) tartalom. A P_2O_5 tartalom vizsgálata ammónium-laktát ecetsavas oldatával, a mikroelemek esetében királyvizes és Lakanen-Erviö feltárást követően Perkin Elmer AAS (Atomic Absorption Spectrometer) 3110-es készülékkel történt (BUZÁS, 1988).

A mintaparcellákon két lejtőszegmens esetében lejtőirányban mintegy 300 m hosszan 25 m-enként üledékcsapdákat helyeztünk el (2. 4. ábrák). A vizsgálat célja a lejtők menti lemosódott üledék, és az üledékcsapdák környezetében gyűjtött talajminták (feltalaj átlagminta) makro- és mikroelem tartalmának, humusztartalmának és fizikai összetételének összehasonlítása, ún. feldúsulási faktor (FF) számolása (BOY, RAMOS, 2005). Az üledékcsapdákban felhalmozódó üledéket, illetve az üledékcsapda környéki feltalajt (0-5 cm) az egyes csapadékeseményeket követően megmintáztuk. A homogenizált átlagmintákból leiszapolható rész elemzését, szervesanyag vizsgálatot, valamint összes és Lakanen-Erviö oldható elemtartalom vizsgálatot végeztünk. Az erózióval mozgó üledékre jellemző feldúsulási faktorokat (DUTTMANN, 1999) az alábbiak szerint számoltuk:

$$FF_{elem} = \frac{elemkoncentráció_{szedim.}}{elemkonc. talaj}$$

$$FF_{agyag} = \frac{agyagtartalom_{szedim.}}{agyagtart. talaj}$$

$$FF_{Corg} = \frac{szervesanyagtartalom_{szedim.}}{szervesanyagtartalom_{talaj.}}$$

A talajvesztés modellezést megelőzően az eróziót befolyásoló bemeneti paramétereket mérésrel határoztuk meg: nedvességtartalom, talajszerkezet, fizikai féleség, szervesanyag tartalom, talajtípus, területhasználat és a növényborítottság változása. A csapadékadatokat a mintaterületen elhelyezett csapadékmérő állomás szolgáltatta.

A talajerózió (10x10 m-es pixelekre akkumuláció és talajvesztés, illetve nettó erózió) meghatározásához a Németországban kifejlesztett talajeróziót becsülő modellt, az Erosion 2D/3D-t használtuk (SCHMIDT, 1996; SCHMIDT et al., 1999; MICHAEL, 2000). A digitális domborzatmodellt, valamint a talajtani tulajdonságok (szemcseösszetétel, talajtípus, szervesanyag-tartalom stb.) és területhasználati térképeket ArcView (3.3) és ArcGIS (8) szoftverekkel készítettük. A statisztikai elemzésekhez az SPSS (11.0) for Windows statisztikai programcsomagot alkalmaztuk.

Eredmények

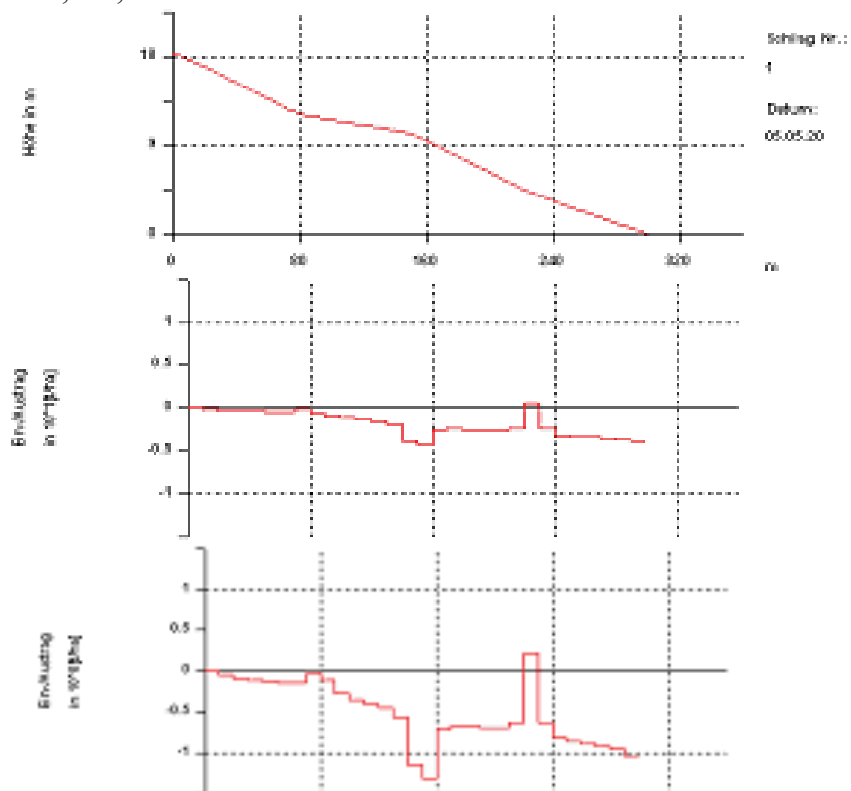
A területhasználat változásának hatása a feltalaj mikroelem forgalmára

A szőlőművelésű mintaparcellán a területhasználati váltás során bekövetkező talajvesztés változásának meghatározásához az Erosion 2D szoftvert használtuk. A modell a lejtővel párhuzamosan szimulálja egy csapadékesemény során bekövetkező talajlehoradást (3. ábra). Az így kapott eredmények összehasonlításából megállapíthatjuk, hogy az adott parcellán nőtt, vagy csökkent a talajlehoradás veszélye.

A mintaparcellán 1990 előtt szántó területhasználat volt (a modellt őszi búza hasznosításra futtattuk), ezután nagyüzemi szőlőtermesztés kezdődött. A művelésváltáskor megváltoztak a feltalaj jellemzői, a növényborítottsággal együtt a felszín érdessége, valamint erózióval szembeni ellenálló képessége. A vízgyűjtő 12 különböző művelésű parcelláján áprilistól októberig tartó havi gyakorisággal végzett növényborítottsági méréseink (%) azt mutatják, hogy a széles sortávolság és az alkalmazott szőlőművelési eljárás következtében az érintett területeken a növényborítottság az év nagy részében a korábbi szántó műveléshez képest felére csökkent, növelve ezzel a talaj- és tápanyag lemosódás

veszélyét. Növeli az erózió kockázatát az is, hogy a vizsgált területeken rendszeres gyomirtási és talajlazítási munkákkal igyekeznek a talajfelszínt „gyommentesen” tartani.

A talajjellemzőket 2004. májusban, illetve júniusban mértük. A modellt egy 2005. évi májusi csapadékeseményre (időtartam: 1 óra, intenzitás: 19,3 mm/óra) futtattuk (3. ábra). A két csapadékesemény talajlefordási görbáját összehasonlítva megállapítható, hogy a lejtőalak által indukált talajeróziós folyamatokat a területhasználat-váltás fel-erősítette, a kritikus pontokon jelentősen nőtt az éves talajvesztesség. A lejtő középrészén található intenzív lepusztulási területen az őszi búza termesztése alatt 0,4-0,5 t/ha/év volt a jellemző talajvesztességi érték. A területhasználat szőlőre váltásával ez az érték e térrészen 1,2-1,3 t/ha/évre nőtt.

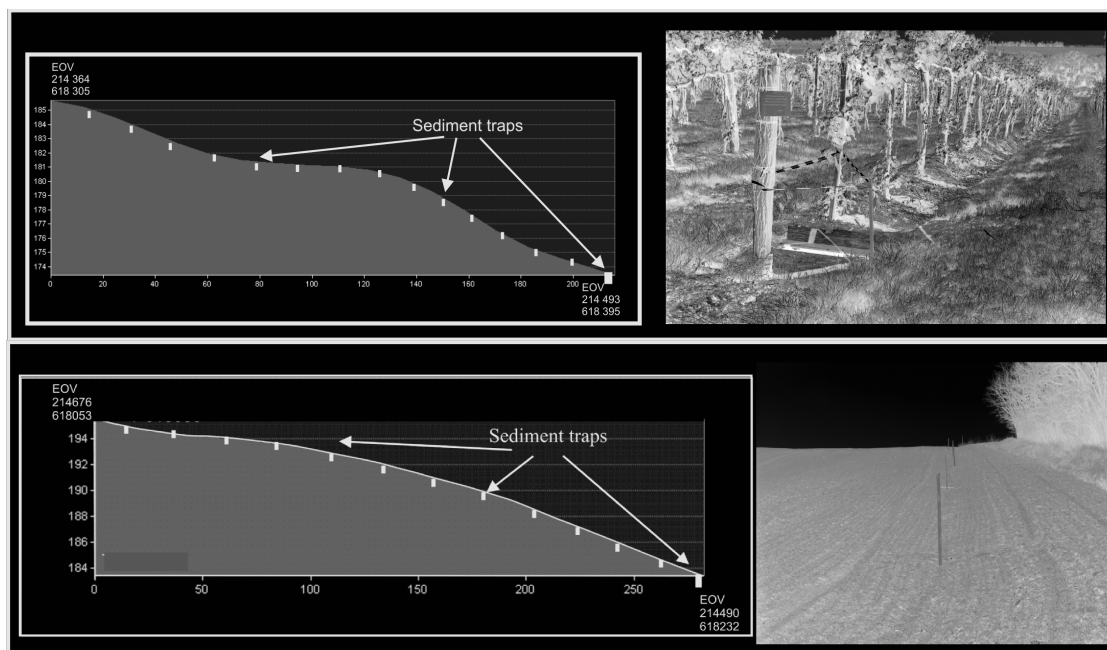


3. ábra A tesztterület eróziós és akkumulációs mutatói a lejtő (felső ábra) mentén őszi búza (középső ábra) és nagyüzemi szőlőtermesztés esetén (alsó ábra)

Az elemtartalom feldúsulási tendenciájának vizsgálata a lejtő irányban mozgó üledékben

Az erózióval mozgó elemek viselkedésének feltárásához üledécsapdákat helyeztünk el a vizsgált terület két különböző területhasználatú parcelláján (szőlő, szántó), mintegy 250-300 m hosszú lejtőszegmensén 20-25 m-enként (4. ábra). Az erózióval mozgó üledékben dúsuló agyagfrakció és elemtartalom meghatározására feldúsulási faktorokat (FF) számoltunk. Az üledécsapdák ürítését és a környező területek feltalajának átlag mintázását 2004-2006 közötti három évben összesen öt erozív csapadékeseményhez kapcsolódóan végeztük (2. táblázat).

A mérési eredményeink alapján megállapítható, hogy az adott talajtípus és lejtőviszonyok mellett az erózióval mozgatott üledékben a helyben található talajtípushoz képest az elemfeldúsulást a területhasználat is befolyásolja (3. táblázat). Minden vizsgált komponens esetében a szőlő területen mozgó üledékben tapasztaltunk magasabb feldúsulási értékeket. A szőlő területre átlagosan $FF=1,08$ -szoros agyagfeldúsulás és $FF=1,75$ -szoros szervesanyag feldúsulás jellemző.



4. ábra Az üledékcsapdák elhelyezkedése a szőlő és a szántó mintaparcellán

2. táblázat A vizsgálatba vont erózió csapadékesemények jellemzői

* I_{30} : maximális 30 perces intenzitás

Dátum	Időtartam (min)	Összes csapadék	Csapadérintenzitás (mm/h)		
			Átlag	Maximum	I_{30} *
2004. jún. 6.	60	8,9 mm	8,9	16,8	9,5
2004. jún. 24.	180	18 mm	6	31,2	28,6
2005. máj. 18.	100	17,3 mm	10,38	55,2	n.d.
2005. júl. 11.	120	25,3 mm	12,65	45	37,8
2005. júl. 20.	100	10,7 mm	6,42	36	18

A mikroelemek közül leginkább a Ni (FF=2,04), Zn (FF=1,2), Co (FF=1,2) és a Cu (FF=1,2) dúsul az erózióval mozgó üledékben. Az Pb (FF=1,1) és a Cr (FF=1,03) az üledékcsapdák anyagában a környező feltalajjal „azonos” koncentrációban van jelen. A szántó mintaterület üledékcsapdái esetében a vizsgált mikroelemek esetében nem tapasztaltunk feldúsulást. Az agyagfrakció 1,2-szerese, míg a szervesanyag tartalom 1,7-szerese az üledékben a helyben maradó talajéhoz képest. A szántón feltehetően a műtrágyázás következtében az ortofoszfát jelentősen dúsul a mozgó szedimentben, a feldúsulási faktor 2,05. Egyváltozós t próbával teszteltük, hogy a feldúsulási faktorokból számított átlag értékek szignifikánsan (95%-os szignifikancia szinten) eltérnek-e 1-től. Megállapítottuk, hogy szőlő esetében a Co kivétel minden elem feldúsulási faktora szignifikánsan nagyobb, mint 1. A szántón tapasztalt feldúsulási faktorok esetében azonban a Cu, Ni, Cr, Pb elemek tekintetében az átlagok 1-től való eltérése a t próba szerint nem szignifikáns.

Az erózióval mozgó szedimentben mért szervesanyag tartalom, leiszapolható rész és elemtartalom összefüggéseit korrelációs számításokkal vizsgálva megállapítható, hogy a Cu, Zn és az AL- P_2O_5 a talaj szervesanyagával együtt, míg a Ni a talaj agyag kolloidjaihoz abszorbeálva mozdul el. A többi vizsgált elem (Pb, Co, Cr) nem mutat szignifikáns különbséget a környező feltalaj mikroelem-tartalmához képest (4. táblázat) (FARSANG, M.TÓTH, 2003).

3. táblázat Az összes elemtartalom (ppm), humusz % és leiszapolható rész (%) feldúsulási faktorainak (FF) alakulása a szőlő és szántó parcellán

	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Co	agyag	Corg	P ₂ O ₅
a) össz. átlag	1,09	1,66	0,96	1,12	1,03	1,08	1,23	1,76	1,91
b) szőlő átlag	1,18	2,04	1,15	1,19	1,03	1,22	1,23	1,75	1,77
c) szántó átlag	0,99	0,81	0,77	1,05	1,02	0,95	1,22	1,76	2,05

4. táblázat Az erózióval mozgó szedimentben mért vizsgálati paraméterek korrelációs mátrixa
(a): leiszapolható rész, (b): humusz, (c): P₂O₅,
*szignifikáns korreláció 0,01-es szignifikancia szinten.

	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Co	(a)	(b)	(c)
Cu	1								
Ni	-0,207	1							
Pb	-0,287	-0,071	1						
Zn	0,411*	-0,417*	0,174	1					
Cr	0,133	0,407*	-0,730*	-0,224	1				
Co	-0,284	0,035	0,902*	0,014	-0,675*	1			
(a)	-0,313*	0,376*	0,181	-0,137	0,118	0,108	1		
(b)	0,404*	-0,225	-0,297	0,413*	0,133	-0,484*	-0,250	1	
(c)	0,415*	-0,397*	-0,268	0,522*	0,067	-0,477*	-0,366*	0,783*	1

A mobilis, könnyen oldható (Lakanen-Erviö feltárással oldatba vitt) elemtartalom feldúsulását az erózióval mozgó üledékben két eróziós esemény kapcsán vizsgáltuk (5. táblázat). A 2005. május 18-i csapadékesemény egy nagy intenzitású zivatar volt (időtartam: 100 perc, csapadékösszeg: 17 mm, maximális intenzitás: 55,2 mm/h). A 2006. április 6-án történt mintavételezés pedig a márciusi hóolvadási erózió eseményét követte.

A könnyen oldható elemtartalom feldúsulására az összes elemtartalomhoz hasonlóan megállapítható, hogy a szőlő parcellán jellemzően magasabbak a feldúsulási faktor értékei, mint a szántón (5. táblázat). A szőlő parcellán a Zn, Cu, Cr és Ni feldúsulása a legjellemzőbb az elmozduló szedimentben (FF: 1,4-1,6). Az Pb és Co feldúsulása minimálisnak, 1,1-nek adódott. A szántó parcellán a vizsgált eróziós események esetében nem figyelhető meg a könnyen oldható tápanyag feldúsulása a mozgó szedimentben. A feldúsulási faktorokból számított átlagértékek 1-től való eltérését t próbával teszteltük. Megállapítottuk, hogy szőlő esetében minden átlagérték szignifikánsan eltér 1-től (95%-os szignifikancia szinten), míg a szántón mért FF értékek esetében a leiszapolható rész és a Cr átlag értékek 1-től való eltérése nem szignifikáns.

5. táblázat A növény által felvehető elemtartalom (ppm), leiszapolható rész (%) (1) és humusz% (2) feldúsulási faktorai (FF) az erózióval mozgó üledékben (2005. május, 2006. március)

2005. május	Zn	Pb	Cu	1.	Co	Cr	Ni	2.
a) szőlő átlag	1,54	1,11	1,64	0,80	1,12	1,65	1,46	1,67
b) szőlő szórás	0,75	0,17	0,94	0,18	0,44	1,70	0,71	0,66
c) búza átlag	1,16	0,91	0,51	1,06	0,73	0,96	1,18	1,70
d) búza szórás	0,19	0,16	0,07	0,37	0,31	0,39	0,47	2,94
2006. március								
a) szőlő átlag	1,45	0,89	1,19	1,18	1,13	1,10	1,26	1,20
b) szőlő szórás	0,83	0,27	0,56	0,35	0,56	0,37	0,46	0,26
e) repce átlag	1,23	1,91	0,52	1,09	0,65	0,92	1,24	0,96
f) repce szórás	0,17	2,33	0,08	0,25	0,28	0,37	0,56	0,26

Az elemelmozdulás modellezése kisvízgyűjtőn

Az Erosion3D modell futtatásához ArcView és ArcGIS programok segítségével a teljes vízgyűjtőre elkészítettük a szükséges digitális alaptérképeket: digitális domborzatmodell, területhasználat, felszínborítottság, érdesség, szemcseösszetétel, szervesanyag-tartalom, termőréteg-vastagság. Ezek alapján modelleztük a vízgyűjtőre pixelenként és csapadékeseményenként kg/m^2 -ben az eróziót, akkumulációt, illetve a kettő eredőjeként a nettó eróziót.

2004-ben végzett eróziós vizsgálataink során két igen erózív csapadékeseményt regisztráltunk. E két esemény mindegyike igen jelentős talaj- és tápanyagvesztést okozott a vizsgált területen. Az EROSION 2D/3D validálását a 2005-ös, rendkívül csapadékos nyár két nagy zivatarának segítségével végeztük el. A vizsgált csapadékesemények alapadatain kívül az átlagos intenzitást, a maximális intenzitást és a félórás maximális intenzitást (I_{30}) tüntettük fel a 2. táblázatban.

A vízgyűjtőn két erózióveszélyes területrészt körvonalaazódott, az egyik a vízgyűjtő ÉNy-i részének nagy reliefű szántó területein (kukorica, őszi búza), a másik pedig a mintavételi parcellával jellemzett intenzív szőlőművelés alá vont területrészeken. Ezen térrészeken a nettó erózió $1\text{--}2 \text{ kg/m}^2$ között változik.

Az erózióval mozgó makro- és mikroelem mennyiségének becslésére kidolgoztuk az egyes erózív csapadékeseményekhez tartozó tápanyag-elmozdulás térképek (mg/m^2) elkészítésének módszertanát. Az így elkészült térképeket dinamikus tápanyag térképnek nevezhetjük (5. ábra).

Az egy csapadékesemény hatására bekövetkező elemelmozdulás-térképeket az alábbiak alapján készítettük:

1. Kiindulási tápanyagtérképek elkészítése (mg/kg)
2. Feldúsulási faktorok mérése, számítása
3. Talajerózió modellezése a vízgyűjtőre (E2D/E3D) (kg/m^2)
4. A szedimenttel mozgó elemtartalom számítása:

$$\text{elemkoncentráció}_{\text{szedim}} (\text{mg/kg}) = FF_{\text{elem}} * \text{elemtartalom}_{\text{eredeti feltalaj}}$$
5. Makro- és mikroelem veszteség/felhalmozódás (mg/m^2):

$$\text{talajerózió/-felhalmozódás} (\text{kg/m}^2) * \text{elemkoncentráció}_{\text{szedim}} (\text{mg/kg})$$

A elemelmozdulás modellezése kisvízgyűjtőn, különös tekintettel a foszforelmozdulásra

A foszforvegyületek vízben gyengén oldódnak, oldat formájában alig mozognak, kilúgozódásuk csekély mértékű. A felszíni vizekbe tehát elsősorban talajszemcsékhez kötődve jutnak (CSATHÓ et al. 2003; OSZTOICS et al. 2004). Ebből kiindulva a talaj foszfortartalmát már több korábbi munkában is használták arra a célra, hogy a talajszemcsék térbeli átrendeződését, azaz a talajeróziót jelezze (KURON, 1953; DUTTMANN, 1999).

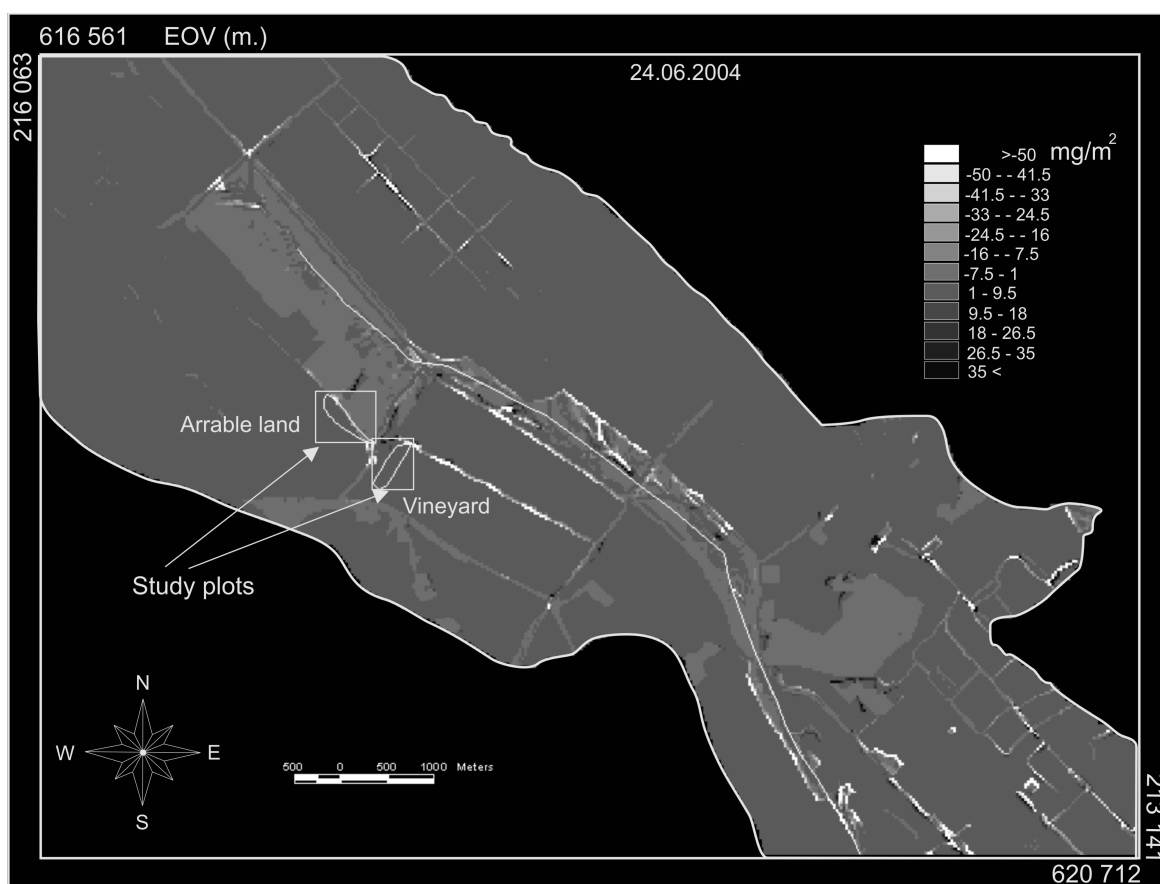
Az EROSION 3D alkalmazásával lehetővé vált az elemmozgás vízgyűjtő szintű elemzése. Erózió és elemleemosódás szempontjából egyértelműen a szántóterületek tűnnek kritikusnak, míg a szőlők jóval alacsonyabb eróziós rátát mutatnak. A vizsgált csapadék események hasonló mintázatot eredményeztek a vízgyűjtőn. Míg a 2004. 06. 06-i eső által okozott areális erózió átlagosan $1\text{--}2 \text{ kg/m}^2$ alatt maradt, addig a 2004. 06. 24-i zivatar hatására a fejletlen lineáris vízhálózattal rendelkező területeken is $2\text{--}6 \text{ kg/m}^2$ lehordódást tapasztalhattunk.

A fentebb leírtak alapján elkészítettük az egyes csapadékeseményekhez tartozó elem elmozdulás térképeket (5. ábra, 6. táblázat). Az 5. ábrán az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ elmozdulás értékeit ábrázoltuk. A lemosódás főként a környező területeknél magasabb foszfortarta-

lommal rendelkező szántókon jelentős. Ezen térrészeken a nettó erózió elérheti a 14-18 kg/m² -es értéket is. Az általunk mért P lemosódási értékeket ($P = P_2O_5 \cdot 0,4364$) a Balaton vízgyűjtőjére számolt 1,5-18,7 kg P/ha/év értékekkel (DEBRECZENI, 1987) vetettük össze. 2004-ben saját csapadékmérési adataink alapján 14 erozív csapadék volt a területen, ebből 8 esemény a május-június hónapokra esett. Vízgyűjtőnkön ez évben a lemosódó P-tartalom 0,02-4,44 kg/ha között változott.

6. táblázat A vízgyűjtő feltalajának szemcséhez kötődő Zn, Cu, Pb, AL-P₂O₅ elmozdulási értékei két csapadékesemény alkalmával (mg/m²)

Vizsgált elem	2004.06.06.			2004.06.24.		
	Max. (mg/m ²)	Átlag (mg/m ²)	SD	Max. (mg/m ²)	Átlag (mg/m ²)	SD
Zn	784.39	14.26	49.35	1928	39.09	133.44
Cu	255.45	5.021	16.38	626.03	13.75	44.29
Pb	251.08	4.11	13.93	620.9	11.26	37.29
AL-P ₂ O ₅	408,09	5,48	20,55	1017	15.05	55.32



5. ábra A feltalaj AL-P₂O₅ tartalmának elmozdulása 2004. 06. 24-i csapadékeseményhez kötődően (mg/m²)

Kisvízgyűjtő szinten az elem mozgási törvényszerűségeinek feltárása több szempontból is hasznos: segítséget jelent a területi tervezésben, az erózió szempontjából optimális területhasználat és művelési módok meghatározásában. A precíziós mezőgazdaság elterjedésével, a megfelelő mennyiségű tápanyag kijuttatásához inputként szolgáló statikus tápanyag térképeken túl ún. „dinamikus adatként” a feltalaj tápanyag tartamának elmozdulását is bevonhatjuk a tervezésbe.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA K-73093, valamint az OTKA IN-83207 támogatta.

Irodalom

- BOY, S., RAMOS, M. C. (2002). Metal enrichment factors in runoff and their relation to rainfall characteristics in a mediterranean vineyard soil. SUMASS 2002. Murcia, Proceedings Volume II., 423-424.
- BUZÁS, I. (szerk.) (1988). Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 243.
- CSATHÓ, P., OSZTOICS, E., SÁRDI, K., SISÁK, I., OSZTIOCS, A., MAGYAR, M., SZÜCS, P. (2003). A mezőgazdasági területekről a felszíni vizekbe kerülő foszforterhelések I. Foszforforgalmi vizsgálatok értékelése. Agrokémia és Talajtan, **52** (3-4), 473-486.
- DEBRECZENI, B. (1987). A magyar mezőgazdaság NPK mérlege. Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle, (2-3), 150-153.
- DUTTMANN, R. (1999). Partikulare Stoffverlagerungen in Landschaften. Geosyntesis, **10**, 233.
- FARSANG A., M. TÓTH T. (2003). Spatial distribution of soil nutrient in a cultivated catchment area: estimation using basic soil parameters. 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, Italy, Proceedings Book, 154-156.
- FARSANG, A., BARTA, K. (2005). Talajerózió hatása a feltalaj makro- és mikroelem tartalmára. Talajvédelem. Special Issue. Talajtani Vándorgyűlés, Kecskemét, 2004. augusztus 24-26, 268-277.
- GRAESBOLL, P., ERFURT, J., HANSEN, H. O., KRONVANG, B., LARSEN, S. E., REBSDORF, A., VENDEN, L. M. (1994). Report from the National Environmental Protection Agency, Silkeborg, 186.
- ISRINGHAUSEN, S. (1997). GIS-gestützte Prognose und Bilanzierung von Feinboden und Nährstoffaustragen in einem Teileinzugsgebiet der oberen Lamme in Südniedersachsen. Diplomarbeit. Universität Hannover, 34-42.
- JAKAB, G., KERTÉSZ, Á., MADARÁSZ, B., RONCZYK, L., SZALAI, Z. (2010). Az erózió és a domborzat kapcsolata szántóföldön, a tolerálható talajveszteség tükrében. Tájökológiai Lapok, **8** (1), 35-45.
- KRONVANG, B., LAUBEL, A., GRANT, R. (1997). Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an arable catchments, Gelbaek stream, Denmark, Hydrological Processes, **11** (6), 627-642.
- KURON, H. (1953). Bodenerosion und Nährstoffprofil. Mitteil. Aus d. Inst. F. Raumforschung, H. **20**, Bonn - Bad Godesberg, 73-91.
- MICHAEL, A. (2000). Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells Erosion 2D/3D - empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter. Ph.D Dissertation, Universität Freiberg.
- OSZTOICS, E., CSATHÓ, P., SÁRDI, K., SISÁK, I., MAGYAR, M., OSZTOICS, A., SZÜCS, P. (2004). A mezőgazdasági területekről a felszíni vizekbe kerülő foszfor terhelések II. Agrokémia és Talajtan, **53**, 165-181.
- REKOLAINEN, S. (1989). Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. Aqua Fennica., **19**, 95-107.
- SCHMIDT, J. (1996). Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geneigter landwirtschaftlicher Nutzflächen. Berliner Geogr. Abhandlung.
- SCHMIDT, J., WERNER, M. V., MICHAEL, A. (1999). Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed, The Netherlands. Catena, **37**, 449-456.

- SEPA (1997). Losses of Phosphorus from arable Land. Swedish Environment Protection Agency Report. No 4731, Stockholm, Sweden, 78.
- SISÁK, I., MÁTÉ, F. (1993). A foszfor mozgása a Balaton vízgyűjtőjén. *Agrokémia és Talajtan*, **42** (3-4), 257-269.
- SZABÓ, GY. (2000). Talajok és növények nehézfém tartalmának földrajzi vizsgálata egy bükkaljai mintaterületen. *Studia Geographica*, Debrecen, Egyetemi Kiadó, 144.
- ULÉN, B., JOHANSSON, G., KYLLMAR, K. (2000). Model prediction and long-term trends in phosphorus transport from arable lands in Sweden. *Agricultural water management*, **49**, 197-210.
- VÁRALLYAY, GY., CSATHÓ, P., NÉMETH, T., 2005. Az agrártermelés környezetvédelmi vonatkozásai Magyarországon. In KOVÁCS, G., CSATHÓ, P. (szerk.) *A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között. Agronómiai és környezetvédelmi tanulságok*, MTA TAKI, Budapest, 155-188.